

**РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА  
ОПТИМИЗАЦИИ АМПЛИТУДНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ  
КРИВОЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

*Проценко М.Б., Яременко А.А., Рожновская И.Ю.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
m\_protsenko@mail.ru, m.protsenko@onat.edu.ua*

**РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ  
ОПТИМІЗАЦІЇ АМПЛІТУДНОГО ЗБУДЖЕННЯ  
КРИВОЛІНІЙНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ**

*Проценко М.Б., Яременко А.А., Рожновська І.Ю.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.  
m\_protsenko@mail.ru, m.protsenko@onat.edu.ua*

**REALIZATION OF GENETIC ALGORITHM  
FOR AMPLITUDE EXCITATION OPTIMIZATION  
OF CURVILINEAR ANTENNA ARRAY**

*Protsenko M.B., Iaremenko A.A., Rozhnovskaya I.Yu.*

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.  
m\_protsenko@mail.ru, m.protsenko@onat.edu.ua*

**Аннотация.** В статье представлена методика нахождения оптимального (квазиоптимального) амплитудного распределения возбуждающих токов в криволинейной антенной решетке. Методика основана на генетическом алгоритме. Все этапы генетического алгоритма, такие как инициализация, отбор, скрещивание и мутация реализованы в программной среде MathCAD. Уровень боковых лепестков выбран в качестве целевой функции. Результат сравнивался с эквивалентной линейной антенной решеткой.

**Ключевые слова:** криволинейная антенная решетка, генетический алгоритм

**Анотація.** У статті наведена методика знаходження оптимального (квазиоптимального) амплітудного розподілу збуджуючих струмів в криволінійній антенній решітці. Методика заснована на генетичному алгоритмі. Всі етапи генетичного алгоритму, такі як ініціалізація, відбір, схрещування та мутація реалізовані в програмному середовищі MathCAD. Рівень бічних пелюсток вибраний як цільова функція. Результат порівнювався з еквівалентною лінійною антенною решіткою.

**Ключові слова:** криволінійна антенна решітка, генетичний алгоритм

**Abstract.** The article presents a technique for finding the optimal (quasi-optimal) amplitude distribution of excitatory currents in curvilinear antenna array. The technique is based on genetic algorithm. All stages of the genetic algorithm, such as initialization, selection, crossover and mutation are implemented in software environment MathCAD. Sidelobe level is selected as target function. The results are compared with the equivalent linear array.

**Key words:** curvilinear antenna array, genetic algorithm

Развитие современных беспроводных систем передачи информации связано с непрерывным повышением требований к характеристикам радиолинии, неотъемлемым элементом которой являются антенные системы. Проблема создания антенн с заданными и даже специфическими направленными и поляризационными свойствами, с большим рабочим диапазоном частот, с малыми габаритными размерами, приводит к необходимости модернизации конструкций антенн, в том числе в виде антенных решеток (АР), для получения оптимальных характеристик [1].

Для решения задач такого рода, которые характеризуются достаточно большим коли-

чеством входных параметров и многоэкстремальностью получаемых решений, в последнее время применяются новые методы оптимизации, например, генетический алгоритм (ГА), основанный на принципах естественного отбора Ч. Дарвина [2, 3].

Применение ГА получило широкое распространение при решении различных задач антенной техники, таких как оптимизация конструкции антенны, (см., например [4]), синтеза геометрической конфигурации антенны [5], оптимизация расположения антенных элементов в фазированных АР для расширения полосы рабочих частот [6] и др.

Целью данной статьи явилась разработка методики и решение оптимизационной задачи на основе ГА, а именно – определение оптимального (квазиоптимального) амплитудного возбуждения антенных элементов для получения минимального уровня боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности (ДН) криволинейной АР [7...9].

Необходимость решения данной задачи обусловлена тем, что при расположении антенных элементов на криволинейной поверхности и их амплитудно-фазового возбуждения аналогичного эквивалентной линейной АР, ДН таких АР в области боковых лепестков отличаются. Эквивалентность в данном случае характеризует одинаковые габаритные размеры АР (длина хорды дуги, вдоль которой расположены антенные элементы, равна длине линейной АР) и одинаковое количество элементов. В качестве примера, на рис. 1 изображены ДН анализируемых АР, антенные элементы которых возбуждаются равноамплитудно [10].

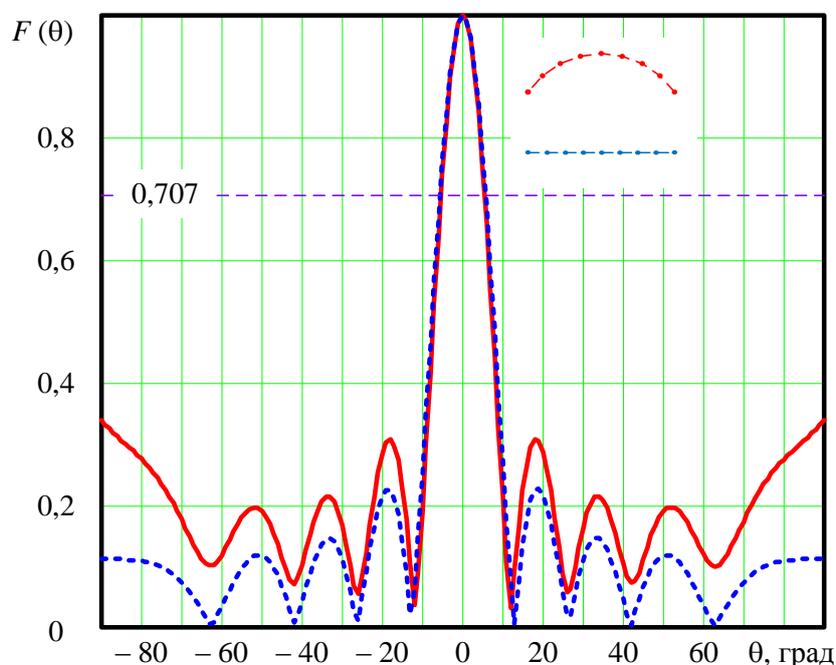


Рисунок 1 – Диаграммы направленности криволинейной АР и эквивалентной линейной АР при равноамплитудном возбуждении

При сравнении этих ДН видно, что УБЛ ДН криволинейной АР выше чем УБЛ ДН эквивалентной линейной АР. Это объясняется тем, что при формировании характеристики направленности АР немаловажную роль играет пространственное расположение антенных элементов [1].

Для решения оптимизационной задачи использован генетический алгоритм. Выбор генетического алгоритма в качестве метода оптимизации обусловлен достаточно большим множеством входных параметров, в качестве которых выступают: количество и расположение антенных элементов в пространстве (в частном случае, на плоскости); тип и ориентация антенного элемента, точнее, габаритные размеры антенного элемента и его комплексная ДН, включающая амплитудную, фазовую и поляризационную характеристики направленности; амплитудно-фазовое возбуждение каждого антенного элемента. Другой причиной выбора генетического алгоритма является многоэкстремальность полученного решения, т. е. полу-

чение того или иного оптимального решения возможно при разном сочетании входных параметров.

Для упрощения поставленной оптимизационной задачи на данном этапе зафиксируем некоторые входные параметры, а именно:

- количество и пространственное расположение антенных элементов:  $N = 9$ ; каждый антенный элемент располагается вдоль дуги окружности; соотношение длины хорды дуги к ее радиусу  $D/R = 1,6$  или при длине хорды дуги равной  $D = 4\lambda$  радиус этой дуги равен  $R = 2,5\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения;

- тип и ориентация антенного элемента: точечный излучатель (габаритные размеры много меньше  $\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения; комплексная характеристика направленности такого излучателя  $f_e(\theta) = 1$  – ненаправленное излучение;

- фазовое возбуждение каждого антенного элемента: синфазное в плоскости эквивалентной апертуры АР. Это означает, что антенные элементы, которые расположены на криволинейной поверхности возбуждаются не синфазно, а с некоторым фазовым сдвигом, который определен геометрической разностью хода лучей от антенного элемента до эквивалентной апертуры АР.

Неизвестными входными параметрами в данном случае остаются амплитудные значения токов на соответствующих входах антенных элементов. Исходя из терминологии, используемой при реализации генетического алгоритма, совокупность амплитудных значений токов на соответствующих входах антенных элементов называется особью, а генотипом особи является хромосома, которая определяет численные значения соответствующих амплитуд токов. Некоторое заданное или сгенерированное случайным образом множество (набор) хромосом образуют поколение или популяцию [2, 3].

В результате решения оптимизационной задачи должна быть найдена такая хромосома или такая совокупность амплитудных значений токов, при которой будет получено экстремальное значение целевой функции или в терминах генетического алгоритма – функция приспособленности [2, 3]. В качестве такой функции, как отмечено выше, выбрано минимальное значение максимального УБЛ криволинейной АР в заданном секторе углов.

В предлагаемой формулировке оптимизационная задача является минимаксной, то есть требуется найти амплитудные значения возбуждающих токов в антенных элементах, минимизирующих максимальный УБЛ ДН в заданном секторе углов  $\Delta\theta$

$$\min \max_{\theta \in \Delta\theta} [F(\theta)],$$

где  $F(\theta) = \frac{F_{AP}(\theta, \theta_{\max})}{F_{AP}(\theta, \theta_{\max})_{\max}}$  – нормированная относительно своего максимального значения ДН криволинейной АР.

Максимальное значение  $F(\theta)$  в диапазоне углов  $\Delta\theta = \theta_1 \dots \theta_2$ , где  $\theta_1, \theta_2$  – угловые координаты начала и конца анализируемого диапазона углов, определяет максимальный УБЛ (в данном случае  $\theta_1 = 13$  град,  $\theta_2 = 90$  град (см. рис.1)). Переменная  $\theta_{\max}$  характеризует предполагаемое направление максимального излучения АР (в данном случае  $\theta_{\max} = 0$  град (см. рис.1)).

Часто УБЛ анализируется в логарифмических единицах, поэтому вместо  $F(\theta)$  можно использовать выражение

$$LF(\theta) = 20 \lg \left( \frac{F_{AP}(\theta, \theta_{\max})}{F_{AP}(\theta, \theta_{\max})_{\max}} \right).$$

Начальным этапом решения поставленной задачи, согласно процедурам генетического алгоритма, является инициализация, в результате которой формируется случайная началь-

ная популяция. В данном случае использована стратегия фокусировки, то есть предположение, что решением поставленной задачи есть вариация известного решения [2,3]. В частности, известно [1], что уменьшение УБЛ ДН линейной АР возможно за счет формирования спадающего к краям АР амплитудного распределения. Наиболее характерным амплитудным распределением является, так называемое, Дольф-Чебышевское распределение, согласно которому можно получить заданный УБЛ. Однако это решение представлено для линейной АР, но может быть использовано также в качестве начального приближения данной оптимизационной задачи. В этом случае время поиска оптимального решения может быть сокращено, так как алгоритм поиска начинает свою работу в окрестности оптимума.

Сгенерированная таким образом первая (начальная или родительская) популяция изображена на рис. 2. Популяция состоит из шести хромосом Т1...Т6. Хромосома Т1 характеризует равноамплитудное возбуждение антенных элементов. Хромосомы Т2...Т4 определяют спадающие к краям АР амплитудные распределения, причем хромосома Т3 содержит значения соответствующие оптимальному Дольф-Чебышевскому амплитудному распределению для эквивалентной линейной АР. Хромосомы Т5 и Т6 определяют спадающие к центру АР амплитудные распределения, которые выбраны произвольно.

T1 := ( 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 )	0,339 (-9,4 дБ)
T2 := ( 0,00 0,25 0,50 0,75 1,00 0,75 0,50 0,25 0,00 )	0,426 (-7,4 дБ)
T3 := ( 0,39 0,53 0,76 0,94 1,00 0,94 0,76 0,53 0,39 )	0,197 (-14,1 дБ)
T4 := ( 0,20 0,66 0,86 0,98 1,00 0,98 0,86 0,66 0,20 )	0,192 (-14,3 дБ)
T5 := ( 1,00 0,75 0,50 0,25 0,00 0,25 0,50 0,75 1,00 )	0,678 (-3,4 дБ)
T6 := ( 1,00 0,98 0,86 0,66 0,20 0,66 0,86 0,98 1,00 )	0,502 (-5,9 дБ)

Рисунок 2 – Первая популяция хромосом (“родители”) и их приспособленность

В результате расчета максимального УБЛ ДН согласно данным распределениям получены численные значения целевой функции (функции приспособленности). Данные значения показаны на рис. 2 напротив каждой хромосомы.

Следующим этапом поставленной задачи, является отбор, в результате которого происходит селекция (выбор родительских пар и удаление менее приспособленных хромосом) [2, 3]. В данном случае выбор родительских пар осуществлен на основании отбора по рулетке, т. е. пропорционально значениям их приспособленности [3]. В качестве родительских пар выбраны хромосомы Т2, Т4 и Т1,Т3, которые имеют максимальные значения приспособленности. Хромосомы Т5 и Т6 на данном этапе удалены из-за низких значений приспособленности.

Следующий этап – кроссовер или этап формирования новой популяции на основе скрещивания родительских пар хромосом [2,3]. На рис. 3 изображены особенности процесса скрещивания родительских хромосом Т2, Т4 и формирования хромосом-потомков Т1...Т3. На рис. 4 изображен аналогичный процесс с хромосомами Т1 и Т3, но другой маской. В результате получены хромосомы потомков Т4...Т6.

Из хромосом потомков Т1...Т6 сформирована вторая популяция и рассчитаны функции приспособленности этих хромосом (см. рис. 5). Анализ приспособленности хромосом-потомков второй популяции показал, что приспособленность ни одной из хромосом-потомков не превышает родительскую (значения максимального УБЛ ДН при этих амплитудных распределениях выше, чем у предыдущих).

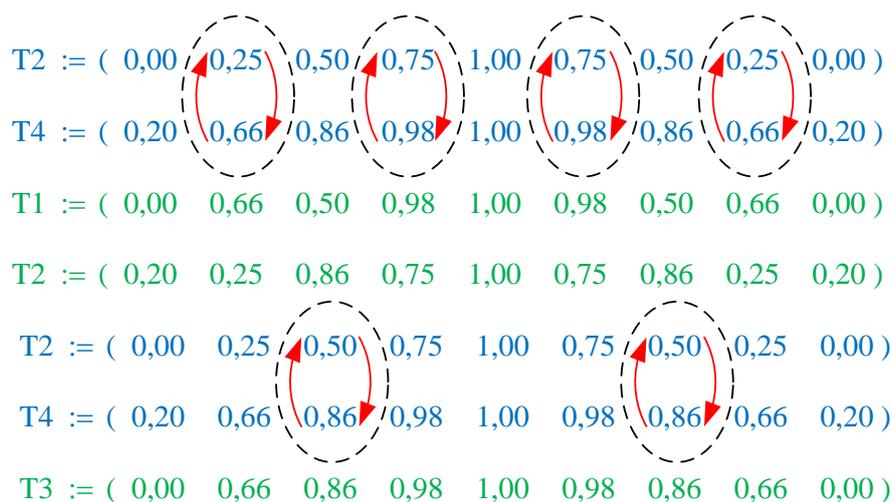


Рисунок 3 – Скрещивание хромосом T2 и T4

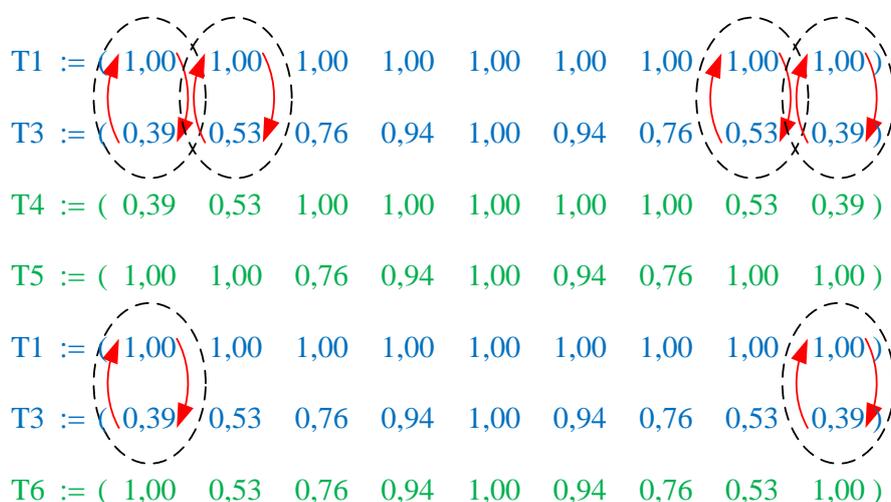


Рисунок 4 – Скрещивание хромосом T1 и T3

$T1 := ( 0,00 \quad 0,66 \quad 0,50 \quad 0,98 \quad 1,00 \quad 0,98 \quad 0,50 \quad 0,66 \quad 0,00 )$	$0,284 (-10,9 \text{ дБ})$
$T2 := ( 0,20 \quad 0,25 \quad 0,86 \quad 0,75 \quad 1,00 \quad 0,75 \quad 0,86 \quad 0,25 \quad 0,20 )$	$0,259 (-11,7 \text{ дБ})$
$T3 := ( 0,00 \quad 0,66 \quad 0,86 \quad 0,98 \quad 1,00 \quad 0,98 \quad 0,86 \quad 0,66 \quad 0,00 )$	$0,249 (-12,1 \text{ дБ})$
$T4 := ( 0,39 \quad 0,53 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 0,53 \quad 0,39 )$	$0,202 (-13,9 \text{ дБ})$
$T5 := ( 1,00 \quad 1,00 \quad 0,76 \quad 0,94 \quad 1,00 \quad 0,94 \quad 0,76 \quad 1,00 \quad 1,00 )$	$0,360 (-8,9 \text{ дБ})$
$T6 := ( 1,00 \quad 0,53 \quad 0,76 \quad 0,94 \quad 1,00 \quad 0,94 \quad 0,76 \quad 0,53 \quad 1,00 )$	$0,305 (-10,3 \text{ дБ})$

Рисунок 5 – Вторая популяция хромосом (потомки) и их приспособленность

Следующим этапом в работе генетического алгоритма является мутация, т. е. случайное изменение генов хромосомы (одного или нескольких численных значений). Мутации хромосома могут привести к существенным изменениям приспособленности относительно их скрещивания [2,3]. В данном случае использована двухразовая неоднородная хромосом с наивысшей приспособленностью, а именно хромосом T4 и T3 первой популяции. Процессы мутации этих хромосом показаны на рис. 6 и 7 соответственно.

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{cccccccccc}
 & 0,16 & & 0,80 & & & 0,80 & & 0,16 & \\
 T4 := & (0,20) & 0,66 & (0,86) & 0,98 & 1,00 & 0,98 & (0,86) & 0,66 & (0,20) \\
 & 0,26 & & 0,90 & & & 0,90 & & 0,26 & \\
 T1 := & (0,16 & 0,66 & 0,80 & 0,98 & 1,00 & 0,98 & 0,80 & 0,66 & 0,16) \\
 T2 := & (0,26 & 0,66 & 0,90 & 0,98 & 1,00 & 0,98 & 0,90 & 0,66 & 0,26) \\
 & 0,61 & & 0,97 & & & 0,97 & & 0,61 & \\
 T4 := & (0,20 & (0,66) & 0,86 & (0,98) & 1,00 & (0,98) & 0,86 & (0,66) & 0,20) \\
 & 0,69 & & 0,99 & & & 0,99 & & 0,69 & \\
 T3 := & (0,20 & 0,61 & 0,86 & 0,97 & 1,00 & 0,97 & 0,86 & 0,61 & 0,20) \\
 T4 := & (0,20 & 0,69 & 0,86 & 0,99 & 1,00 & 0,99 & 0,86 & 0,69 & 0,20)
 \end{array}
 \end{array}$$

Рисунок 6 – Двухразовая мутация хромосомы T4

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{cccccccccc}
 & 0,30 & & 0,70 & & & 0,70 & & 0,30 & \\
 T3 := & (0,39) & 0,53 & (0,76) & 0,94 & 1,00 & 0,94 & (0,76) & 0,53 & (0,39) \\
 & 0,45 & & 0,79 & & & 0,79 & & 0,45 & \\
 T5 := & (0,30 & 0,53 & 0,70 & 0,94 & 1,00 & 0,94 & 0,70 & 0,53 & 0,30) \\
 T6 := & (0,45 & 0,53 & 0,79 & 0,94 & 1,00 & 0,94 & 0,79 & 0,53 & 0,45)
 \end{array}
 \end{array}$$

Рисунок 7 – Одноразовая мутация хромосомы T3

В результате мутации сформирована третья популяция хромосом T1...T6, для каждой из которых рассчитана их приспособленность (см. рис. 8). В третьей популяции хромосом значение приспособленности особи T5 равно 0,177 или -15,0 дБ является наилучшим, что и явилось решение поставленной оптимизационной задачи.

T1 := ( 0,16 0,66 0,80 0,98 1,00 0,98 0,80 0,66 0,16 )	0,193 (-14,3 дБ)
T2 := ( 0,26 0,66 0,90 0,98 1,00 0,98 0,90 0,66 0,26 )	0,203 (-13,9 дБ)
T3 := ( 0,20 0,61 0,86 0,97 1,00 0,97 0,86 0,61 0,20 )	0,187 (-14,6 дБ)
T4 := ( 0,20 0,69 0,86 0,99 1,00 0,99 0,86 0,69 0,20 )	0,194 (-14,2 дБ)
T5 := ( 0,30 0,53 0,70 0,94 1,00 0,94 0,70 0,53 0,30 )	0,177 (-15,0 дБ)
T6 := ( 0,45 0,53 0,79 0,94 1,00 0,94 0,79 0,53 0,45 )	0,209 (-13,6 дБ)

Рисунок 8 – Третья популяция хромосом и их приспособленность

На рис. 9 изображена ДН криволинейной АР с оптимальным амплитудным распределением согласно хромосомы T5 третьей популяции. Здесь же для сравнения изображена ДН эквивалентной линейной АР с равноамплитудным возбуждением антенных элементов.

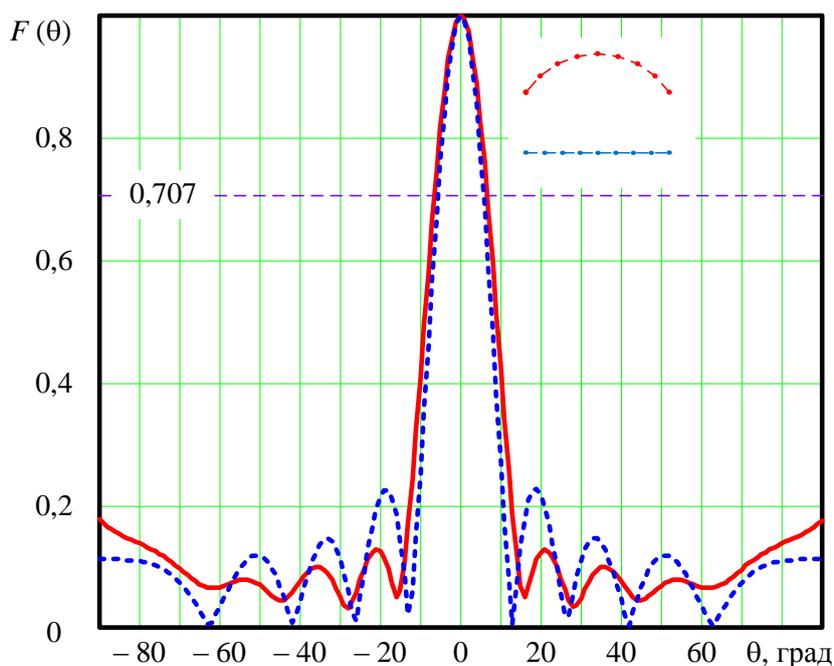


Рисунок 9 – Диаграммы направленности криволинейной АР с оптимальным амплитудным распределением и эквивалентной линейной АР с равноамплитудным возбуждением

Таким образом, в результате решения оптимизационной задачи, а именно определения амплитудного возбуждения антенных элементов криволинейной АР на основе генетического алгоритма, получены значения соответствующих амплитуд токов на входах антенных элементов криволинейной АР. При этих значениях максимальный УБЛ криволинейной АР не превышает значений 0,177 или  $-15,0$  дБ. Данное значение УБЛ ДН криволинейной АР меньше чем УБЛ ДН линейной эквивалентной АР ( $-13,3$  дБ), что свидетельствует о результативности данного решения.

Все этапы генетического алгоритма, такие как инициализация, отбор, скрещивание и мутация реализованы в программной среде MathCAD и могут быть использованы в дальнейшем как для уточнения полученных результатов, так и для получения новых.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Elliott R.S. Antenna theory and design, revised edition / R.S. Elliott .– John Wiley & Sons, 2003. – 624 p.
2. Wright A.H. Genetic algorithms for real parameter optimization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://randolfe.typepad.com/Documents/wright91genetic.pdf>.
3. Скобцов Ю.А. Современные модификации и обобщения генетических алгоритмов / Ю.А. Скобцов // Таврійський вісник інформатики і математики. – 2004. – № 1. – С. 60–71.
4. Слюсар В. Антенны PIFA для мобильных средств связи. Многообразие конструкций / В. Слюсар // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 1. – С. 64–74.
5. Слюсар В. Синтез антенн на основе генетических алгоритмов / В. Слюсар // Первая миля. – 2008. – № 6. – С. 16–23.
6. Гринёв А.Ю. Расширение полосы рабочих частот многофункциональных фазированных антенных решёток / А.Ю. Гринёв, Д.В. Багно, А.И. Синани, Г.Ф. Мосейчук // Мат. 4-й Всероссийской конференции [“Радиолокация и радиосвязь”], ИРЭ РАН, (29 ноября – 3 декабря 2010 г.) – С. 631.
7. Protsenko M.B. Curved antenna array for application to mobile communication systems / M. B. Protsenko, M.V. Rozhnovskiy, P. Bannykh, O. Kobylinskiy, A.A. Iaremenko // Proc. of IX-th International Conf. [“Antenna Theory and Techniques (ICATT)”] Odessa. – Ukraine. – 16–20 Sept. 2013. – P.261-263
8. Protsenko M. Analysis of Curvilinear Antenna Array and Optimization of its Parameters / M. Protsenko, A. Iaremenko // Proc. of 12<sup>th</sup> International Conf. “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET’2014)”, (February 25 – March 1) . – Lviv-Slavske, Ukraine. – 2014. – P.140–141.

9. Protsenko M.B. Potential Properties of Curvilinear Antenna Arrays for MIMO Technology Implementations / M.B. Protsenko, I. Yu. Rozhnovskaya, A. A. Iaremenko // Proc. of 2<sup>th</sup> International Conf. ["IEEE BlackSeaCom 2014"], (27-30 May) – Chisinau, Moldova. – . 2014. – P.130.

10. Protsenko M.B. Investigation of directional properties of curved antenna arrays / M.B. Protsenko, A.A. Iaremenko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2 (47). – С. 99–102.

REFERENCES:

1. Elliott, R.S. "Antenna theory and design, revised edition." *John Wiley & Sons*, 2003.
2. Wright, A.H. "Genetic algorithms for real parameter optimization." <http://randolfe.typepad.com/Documents/wright91genetic.pdf>.
3. Skobtsov, Yu. A. "Modern Modification and Synthesis of Genetic Algorithms." *Tavrisheskiy Bulletin of Informatics and Mathematics* (2004): 60–71.
4. Slusar, V. "PIFA Antennas for Mobile Communications. The Variety of Designs." *Electronics: Science, Technology, Business* 1 (2007): 64–74.
5. Slusar, V. "Synthesis of Antennas Based on Genetic Algorithms." *The First Mile* (2008): 16–23.
6. Grinev, A.Yu., Bagno, D.V., Sinani, A.I., and, Moseychuk, G.F. "Expansion of the Bandwidth of Multifunction Phased Array Antennas." *Proc. of 4th All-Russian Conf. of Radar and Radiocommunications, Russia*, November-December 2010: 631.
7. Protsenko, M.B., Rozhnovskiy, M.V., Bannykh, P., Kobylinskyi, O., Iaremenko, A.A. "Curved antenna array for application to mobile communication systems." *Proc. of IX-th Intern. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Odessa, Ukraine*, September 2013: 261-263.
8. Protsenko, M. B., Iaremenko, A.A. "Analysis of Curvilinear Antenna Array and Optimization of its Parameters." *Proc. of 12th Intern. Conf. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, Ukraine*, February-March 2014: 140-141.
9. Protsenko, M.B., Rozhnovskaya, I.Yu., Iaremenko, A.A. "Potential Properties of Curvilinear Antenna Arrays for MIMO Technology Implementations." *Proc. of 2<sup>th</sup> Intern. Conf. IEEE BlackSeaCom 2014, Chisinau, Moldova*, May 2014: 130.
10. Protsenko, M.B., Iaremenko, A.A. "Investigation of directional properties of curved antenna arrays." *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, № 2 (47) (2014): 99-102.